

# GIS を用いた BSS の検証と DEA による計画手法の提案

## 大谷 真史・久多里 仁禮・山野 高志

### Study on Planning for Bike-Share System by using GIS and DEA

Shinji OTANI, Jinrei KUDARI and Takashi YAMANO

**Abstract:** Especially in urban areas, using a bicycle as a transportation mode has been attracting more public attention because of air pollution, heavy traffic jams, and lack of sufficient exercises. In order to prompt citizens to use bicycle, bike-Share systems have been established. However, lack of sufficient study has led to less number of users in the systems than expected. First of all, the authors researched in cases of foreign bike-share systems by using GIS. As a result, there was little consistency in deciding a scale of stations and number of users. On the other hand, some relationships between bike stations and specific infrastructures were found. They are now trying to establish system to determine the optimum scale of each station by using DEA method.

**Key Words:** 自転車共同利用システム (bike-share system), 地理情報システム (GIS)  
公共交通 (public transportation), サービスレベル (service level)

#### 1. はじめに

世界中における経済成長によって自動車の利用が急増し、その結果として温暖化現象や交通渋滞、健康的な生活の妨げなどが起こっていることは周知の事実である。近年ではこれらの問題への対策として、自転車によるトリップが注目されている。しかし、自転車は 5km 以内の短トリップとしての利用が主なものであり、その他にも駐輪場の確保等による障害があるため、近年では公共交通と自転車利用を容易に併用できる自転車共同利用システム(以下 BSS)が広まっている。

BSS とは、欧州や北米を中心に広まりを見せる大都市新交通システムを指し、自転車の貸出・返却が可能なステーションを都市域に密に整備し、多数の自転車の共同利用を行うシステムである。

我が国においては堺市や高松市、新潟市などにおいて BSS が運用されているが、諸外国の BSS と比較すると規模が非常に小さい。BSS におけるシステムの大規模化は、交通機能や収入等にプラスの効果を及ぼすことが知られており、Pioneer Valler Planning Commission(2008)によると、逆に小規模システムはそれらが全く見込めないとされている。

BSS の導入においては、目的や財政面、システムの設計など、様々な要素を十分に検討して行われるべきである。しかし、諸外国の BSS 導入においては自転車台数やステーション数など、システムの規模や需要推定の決定の十分な根拠は見当たらず、トリップ方向

の偏りや時間による需要の偏在による自転車再分配問題に対する検討も十分にされていないのが現状である。

BSS に関する既往の研究としては、DeMaio(2009)のような先行事例の分析や、Ying(2011)などの地域的な BSS の分析を行ったものが多く見られる。また、実務レベルでは、Transport for London(2008)のように各都市におけるシステム導入に向けた計画書もしくは提案書が多く存在するが、これらの提案には一貫した BSS の計画方法はなく、実際の計画における定量的な根拠は見当たらない。総じて、BSS の計画手法は未だ定まっていない状況にある。

そこで本研究では、既存 BSS において最適な規模を決定するための計画手法の確立を目的とする。

主な手法として、既存 BSS の計画手法の調査と、GIS を用いた BSS の特徴と周辺施設等との相関を明らかにし、これらによって得られた知見を基にして、DEA を用いたプログラムを作成し、最適なステーション規模を作っていくものとする。

#### 2. 諸外国における BSS のケーススタディー

BSS がある代表 4 都市によるフィージビリティースタディー内などで示された、需要推定手法の概要を表 1 にまとめる。これら 4 都市による手法を比較すると、計画エリアの選定や需要推定については一貫した手法が確立されていないことがわかる。しかし BSS は全く新しい交通システムであることから、正確な需要推定は非現実的なものである。そこで、次章にて Arc GIS を用いて既存の BSS と周辺施設や地理的情報と

表1 海外の主要BSSにおける需要推定とその考察

	パリ	ロンドン	ニューヨーク	フィラデルフィア
計画エリアの選定	人口等集中地区を選定	人口等集中地区を選定	人口等集中地区を選定	大都市部において地理情報システムを用いた重み付けにより選定
需要推定	200mメッシュの着トリップを原単位法で着地分類し、自転車魅力度係数を乗じてトリップ需要を推定	短トリップを属性分類した後、得られたトリップ数に取り込み率を乗じてトリップ需要を推定	通勤でBSSを使え得る人口を算出し、見込み率を乗じて登録者を推定	パリにおける経験則を用いて決定
考察	地形や周辺施設情報など、補完的影響要因について言及するも、反映はされていない。予め投入自転車台数も決められており、定量的な計画手法とは言い難い。	駅前からのイグレスを、トリップ方向の偏在を理由に排除している。しかし、BSSの公共交通との併用の原則に反しており、再分配問題への苦慮が読み取れる。	経済性について詳しく調査されているが、登録者推定から自転車数の決定までが飛躍しており、そのプロセスは不明である。	重み付けの数値の理由が不明であり、重み付けされた地理・建物情報の正規化のプロセスも不明である。

の関連性を調べ、BSSの特性や地域特性について調査する。

### 3. GISを用いたBSSの検証

#### 3.1 調査対象

北米最大のBSSを保有し、かつ地理情報・利用者データが最も豊富にあるワシントンD.C.のCapital Bike Shareを調査対象として設定する。

#### 3.2 調査方法・結果

ワシントンD.C.が提供するシェープ形式の地理情報データとArcGISを用い、ステーションと周辺施設との関係性や、BSSのステーションの相互関係、周辺の地理的情報等に関して調査を行う。ステーションと周辺施設との関連性については図1のようにステーションからバッファを作成し、バッファ内に含まれる施設を積算する。なお、利用者は道路ネットワークを辿ってステーションに向かうことから、バッファは円状ではなく道路ネットワーク上の距離を対象に発生させる。また、バッファ距離に関しては、古倉(2009)によって提唱された駐輪場から目的施設までの最大距離である167mを用いる。調査結果の一部を表2、3に記載する。

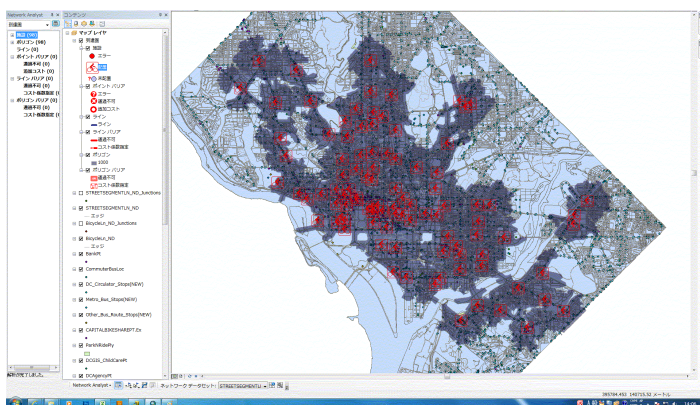


図1 GISによるネットワーク分析

表2 ステーションと周辺施設状況との関係の例

施設分類	全体数	バッファ内数	割合
鉄道駅	90	31	34.4%
バス停	378	101	26.7%
ショップ	861	205	23.8%
サービス施設	729	137	18.8%
公的機関	1610	295	18.3%
教育施設	650	73	11.2%
宗教施設	896	59	6.6%
レクリエーション施設	1096	39	3.6%

表3 各施設等とステーション利用者数との相関

変数	相関係数
ステーション保有ラック数	0.509
商業施設立地区域	0.160
マンション立地区域	0.409
一般居住区域	-0.076
銀行	0.235
通勤バスストップ	0.118
オフィシャルバスストップ	0.163
ホテル	0.415
一般バスストップ	0.283
公園	0.053
礼拝所	0.145
小売店	0.212
歩道沿いカフェ	0.501
鉄道駅関連施設	0.041
バス関連施設	0.259
学校関連施設	-0.116
サービス関連施設	0.259
D.C.サービス関連施設	0.168
宗教関連施設	0.145
アメニティー関連施設	0.043

表2、表3から読み取れるように、ステーションと周辺用地、施設等との信頼できる相関は見当たらない。これがBSSの計画手法が各都市ともに一貫した計画手法を取れない要因の一つであると考えられる。さらに、表3にあるようにステーション規模（ステーションラック保有数）とステーション利用者数にも十分な相関はない。BSSのステーションは規模変更が比較的容易であるにも係わらず、様々な要因により変動する需要を把握できていないために効果的な規模変更ができていないことが読み取られる。そこで本研究では、既存のBSSの規模変更について計画手法を提案することを目的とし、研究を進める。

## 4. DEA による計画手法の提案

### 4.1 DEA とは

DEA (包絡分析法) とは入力から出力への変換過程における効率性を比較し、好ましいモデルを抽出する線形計画法である。例えば、1 入力 2 出力モデルにおいて (出力 1) / (入力) を横軸に、(出力 2) / (入力) を縦軸に設定して DEA を使用する場合、適当なプロットに対し図 2 に示すような例が得られる。

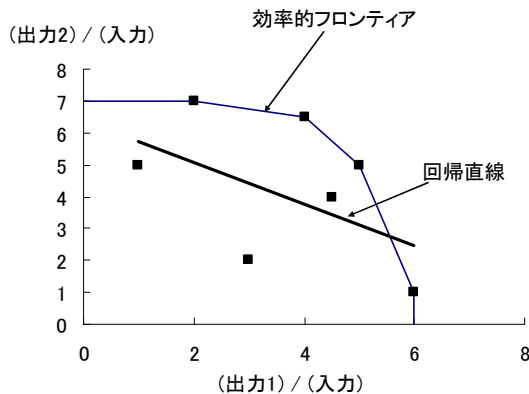


図2 DEA による評価の例

ここでは各出力別に項目分けを行い、効率的フロンティアと呼ばれる直線を最も外側のプロットを通るように引く。効率的フロンティア上にある点は最も効率が良い集合 (D 効率 1 の集合と呼ぶ) であり、改善の余地があるデータについては、フロンティアラインによって内側に包み込まれる。図から見られるように、回帰直線は平均像に基づく分析法であるのに対して包絡分析法は優秀な集合をベースにした効率性の評価法である。

包絡分析法では分析対象を一般に DMU (意思決定者) と呼ぶ。今、 $n$  個の活動があると仮定し、それらを  $DMU_1, DMU_2, \dots, DMU_n$  とする。 $m$  個の入力項目と  $s$  個の出力項目が選定されたとすると、入力データ行列  $X(m \times n)$  と、出力データ行列  $Y(s \times n)$  は

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ y_{s1} & y_{s2} & \dots & y_{sn} \end{bmatrix}$$

これら  $n$  個の活動について比率尺度を用いて測定する。対象となっている活動を代表的に  $DMU_0$  とすると、 $DMU_0$  に対する包絡分析法は次の分数計画問題を解くことによって定まる。

<目的関数>

$$\max \theta = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_m x_{mo}}$$

<制約式>

$$\frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_m x_{mo}} \leq 1 \quad (j = 1, \dots, n)$$

また、実際に包絡分析法を計算する際には、上式を分数計画から線形計画へと変換し、その相対問題を解くことが一般的である。

### 4.2 DEA による BSS 評価手法の有用性

DEA は図 2 で示したように、複数の集合体の中から複数の入力に関して優位な集合体を抽出する手法である。これは予算や条件等が限定された公共事業の入札に際した評価などに非常に有意である。とくに BSS はステーションの配置場所や予算、その規模等について制限が多く、限られたプランから優位集合を抽出する評価手法が取られやすいため、DEA による評価手法に向いていると考えられる。

### 4.3 DEA を用いた BSS の評価手法

BSS においてはステーションのシステム設計上、複数の自転車ポートが集まってステーションが構成されることから、規模の変更が比較的容易である。しかし、需要数とステーションの規模についての最適化が十分になされておらず、かつ時間によって変動する需要は全く考慮されていないため、ステーションが満杯もしくは空となり、ピーク利用時には自転車を借りたくても借りられない、もしくは返したくても返せないという状態が頻繁に発生する。そこで、DEA を用いて Capital Bike Share のステーションシステムを参考にし、様々な要因によって変動する需要に対するステーションの最適な規模設計を行うため、図 3 示すようにプログラムを作成した。

さらに、図 3 に示すプログラムを実行した後、全結果に対して DEA を適応し、それぞれの効率性について考察を行っている。

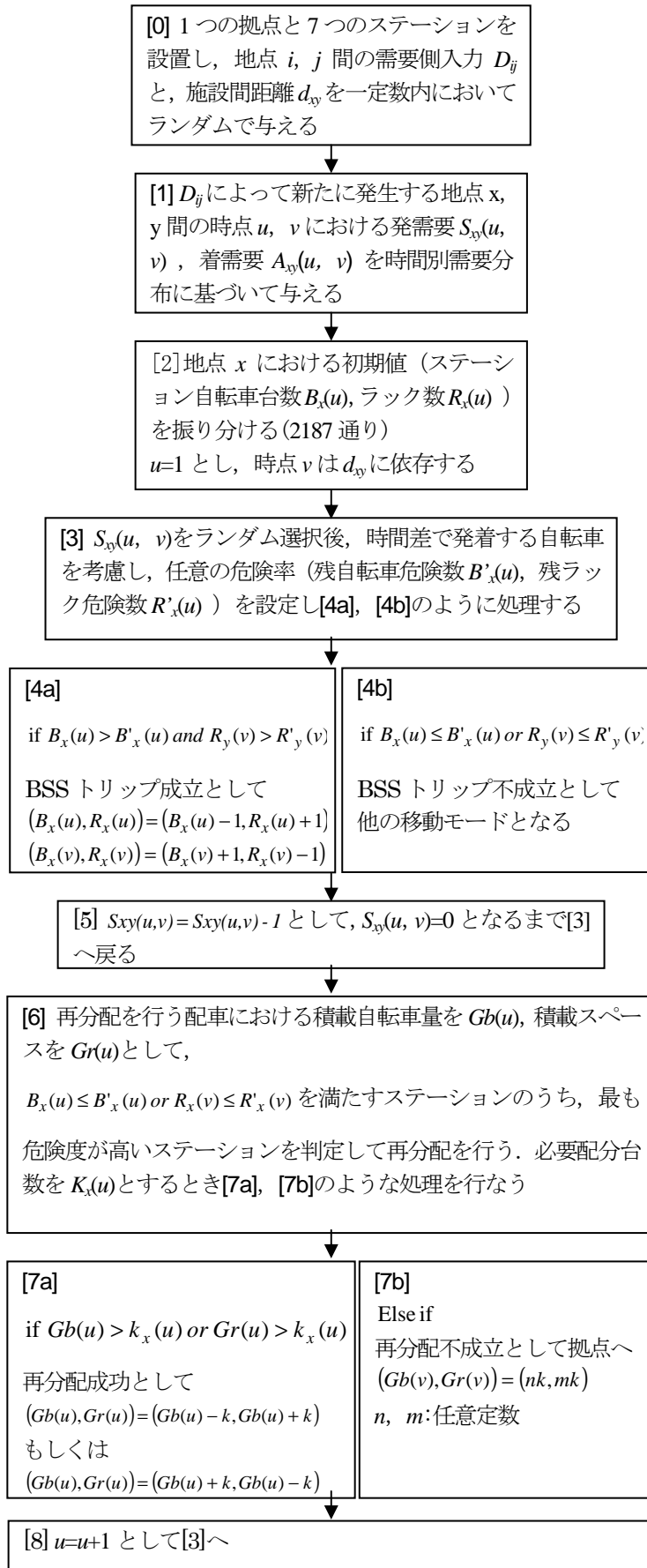


図3 ステーション規模決定の流れ

## 5. おわりに

本研究では BSS の評価手法が確立していないことを示し、その解決策として時間により変動する需要に対する最適なステーションの配置方法について DEA を用いて具体例を示した。

今後は 3D GIS を用いた BSS の意思決定支援ツールの可視化や、GIS 上での地理情報を考慮したシミュレーションなどについて取り組みたい。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、堺市役所自転車まちづくり推進室の皆様には、BSS に関する貴重なデータをご提供頂きました。また、大阪工業大学の吉川 眞教授、ならびに学生の皆様には Arc GIS を用いた BSS の分析に関してご協力を頂きました。さらに、British Columbia 大学の Adam Cooper 教授には、既往の BSS に関するレポートやその詳細なプライシングなどに関してアドバイスと文献提供を頂きました。以上に紹介させて頂いた他にも多くのご支援を頂き、本論文を執筆することができました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- Pioneer Valler Planning Commission (2008): Bike Share Program Report
- DeMaio (2009): Bike-sharing, History, Impacts, Models of Provision, and Future
- Zyang, Ying (2011): Evaluating performance of bicycle sharing system in Wuhan, China
- Transport for London (2008): Feasibility study for a central London cycle hire scheme, Final report
- NYC Dept. City Planning (2009): Bike-Share Opportunities in New York City
- JZTI and Bonnette Consulting (2010): Philadelphia Bikeshare Concept Study
- 諏訪 嵩人 (2009): 自転車共同利用システムの計画手法に関する基礎的研究
- 古倉 宗治 (2009): 日欧の自転車政策と我が国のコミュニティサイクルのあり方, コミュニティバイク研究会
- Adam Cooper (2009): The UBC public bicycle system feasibility study